Iranian Journal of Field Crops Research
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

Research Article
Vol. 20, No. 1, Spring 2022, p. 1-13

Effect of Deficit Irrigation on Water Use Efficiency and Tuber Dry Matter of Potato Cultivars

A. Nouri[1], A. Nezami[2*], M. Kafi[2], D. Hassanpanah[3]

Received: 08-11-2016 Revised: 03-01-2017 Accepted: 31-01-2017	**How to cite this article:** Nouri, A., Nezami, A., Kafi, M., and Hassanpanah, D. 2022. Effect of Deficit Irrigation on Water Use Efficiency and Tuber Dry Matter of Potato Cultivars. Iranian Journal of Field Crops Research 20 (1): 1-13. (in Persian with English abstract). DOI: 10.22067/gsc.v19i1.60189.

Introduction

Potato ranks the first with respect to the amount of energy production per unit area. It is cultivated in about 19.5 million hectares throughout the world and its annual production is about 375 million tons. Iran ranks the third in Asia and 12th in the world in potato production and produces around 4.5 million tons of potato annually. Potato is a sensitive crop to water deficiency and its water requirement is higher compared to many other crops. Due to ever decreasing of water available for agriculture sector and reduced precipitations in recent years deficit irrigation, which results to more efficient use of available water, can be considered as a clever water management strategy in potato production. In this study the effect of deficit irrigation on water use efficiency (WUE) and percent tuber dry matter of 10 potato cultivars were investigated to identify the best performed cultivar (s) under this condition.

Materials and Methods

A two years study was conducted in a split plot experiment based on complete block design with three replications in Ardabil in 2013 and 2014. The main plot was three levels of irrigation (complete irrigation and irrigation with 80% and 60% of required water) and the subplot consisted of 10 potato cultivars including: Khavaran, Savalan, Luca, Satina, Santae, Marfona, Ceasar, Agria, Aula and Draga. Each plot consisted of 6 rows of 4.5 m long (27 m^2). Required water conveyed to the plots through tape line equipped with a measurer gauge. At harvest 7.5 m^2 of each plot (excluding the borders) was hand harvested and transferred to the laboratory, where marketable tubers (tubers with at least 35 mm or more in size) were separated and weighted and data were transformed to $ton.ha^{-1}$. To determine percent dry matter of tubers, a 300 g tuber sample was taken from each plot, chopped to one cm pieces and oven dried at 75^0C for 48 hours until a constant weight was obtained and then the dry matter was measured.

Results and Discussion

The analysis of variance result of WUE revealed that there were significant differences between years, irrigation treatments and cultivars. Also, the interactions of irrigation × year and irrigation × cultivar were significant. Water use efficiency were higher in both mild and severe water deficit conditions compared to complete irrigation and there were significant differences among potato cultivars in all three irrigation regimes. Under severe water deficit condition the highest and the lowest WUE were found in cultivars Satina and Marfona respectively (5.88 and 2.24 $kg.m^{-3}$) and the lowest and the highest percent reduction of WUE were also observed in cultivars Satrina (+50%) and Marfona (-29%), respectively. The effect of water treatment on percent tuber dry matter was not

1- PhD student in Crop Physiology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
2- Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
3- Associate Professor, Horticulture Crops Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research Centre, AREEO, Ardabil, Iran
(*- Corresponding Author Email: nezami@um.ac.ir)
DOI: 10.22067/gsc.v19i1.60189

significant. However, significant differences were observed among the potato cultivars in this regard. The highest and the lowest mean percent tuber dry matter were observed in cultivars Savalan (23.6%) and Draga (18%), respectively.

Conclusion

Based on the results obtained in this study it can be concluded that deficit irrigation results in increased WUE especially in cultivar Satina, but has no effect on percent tuber dry matter. Therefore, in regions with severe water limitation cultivar Satina, that has the highest WUE, can be recommended. In regions where enough water is available and higher dry matter is demanded specially by processing industries cultivar Savalan is recommended based on its higher dry matter.

Keywords: Drought stress, Satina, Savalan

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۲۰، شماره ۱، بهار ۱٤۰۱، ص ۱۳-۱

تاثیر کم‌آبیاری بر درصد ماده خشک غده، عملکرد و کارآیی مصرف آب و برخی از ارقام سیب‌زمینی

علیرضا نوری[۱]، احمد نظامی[۲*]، محمد کافی[۲]، داود حسن پناه[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۸/۱۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۱۲

چکیده

سیب‌زمینی جزو محصولات زراعی با نیاز آبی بالا بوده و به تنش رطوبتی حساس است. کم‌آبیاری یک راهکار سودمند مدیریت آب در شرایط محدودیت آب آبیاری محسوب می‌شود. در این تحقیق تاثیر تیمارهای کم‌آبیاری بر کارآیی مصرف آب و درصد ماده خشک غدهٔ ۱۰ رقم سیب‌زمینی در یک آزمایش کرت‌های خرد شده بر پایهٔ طرح بلوک کامل تصادفی و در دو فصل زراعی بررسی شد. عامل اصلی سه تیمار آبیاری و عامل فرعی ۱۰ رقم سیب‌زمینی بودند. در تنش آبی ملایم بیشترین و کمترین مقدار عملکرد غده قابل فروش به‌ترتیب در ارقام خاوران و دراگا و کمترین درصد کاهش نسبت به آبیاری کامل در رقم کایزر به‌دست آمد. در تنش آبی شدید بیشترین و کمترین مقدار عملکرد غده قابل فروش به‌ترتیب در ارقام ساتینا و دراگا و کمترین درصد در رقم کایزر به‌دست آمد. کارآیی مصرف آب در هر دو شرایط تیمار کم‌آبیاری بیشتر از شرایط آبیاری کامل بود. بین ارقام مختلف سیب‌زمینی از نظر کارآیی مصرف آب در هر سه تیمار آبیاری تفاوت‌های معنی‌داری مشاهده گردید. بیشترین و کمترین کارآیی مصرف آب در تنش آبی شدید در ارقام ساتینا و مارفونا (به‌ترتیب ۵/۸۸ و ۲/۲٤ کیلوگرم بر متر مکعب آب) به‌دست آمد. بیشترین و کمترین ماده خشک به‌ترتیب در ارقام ساوالان (۲۳/۶۶ درصد) و دراگا (۱۸ درصد) حاصل گردید. بنابراین در مواقعی که کمبود آب وجود دارد استفاده از رقم ساتینا مقرون به صرفه‌تر بوده و در مواردی که آب کافی در دسترس بوده و تولید محصول با درصد بالایی از مادهٔ خشک غده مورد نظر باشد کشت رقم ساوالان توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، رقم ساتینا، رقم ساوالان

مقدمه

سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.)، از نظر میزان تولید، سطح زیرکشت و تامین غذای مردم جهان در میان محصولات زراعی پس از گندم (*Triticum aestivum* L.)، برنج (*Oryza sativa* L.) و ذرت (*Zea mays* L.) در رتبهٔ چهارم قرار دارد و ایران از نظر تولید سیب‌زمینی در دنیا رتبهٔ دوازدهم و در آسیا پس از چین و هند جایگاه سوم را به خود اختصاص داده است (FAO, 2015). سیب‌زمینی جزو محصولات زراعی با نیاز آبی بالا محسوب می‌شود و در مقایسه با سایر محصولات زراعی به دلیل سطحی بودن ریشه‌های آن، که بیشتر در ۳۰ تا ۵۰ سانتی‌متری خاک پراکنده شده‌اند (Allen and Onder *et al*., 2005,Scott, 1992)، به تنش رطوبتی حساس بوده و نیاز آبی بالایی دارد (Foti *et al*., 1995). با وجود این در میان ارقام سیب‌زمینی از نظر عمق ریشه تفاوت وجود دارد و عمق ریشه در ارقام متحمل به تنش کم‌آبی بیشتر از ارقام حساس است (Shi *et al*., 2015).

بر اساس نتایج یک تحقیق وقوع کم‌آبی در مرحله شروع تشکیل غده میانگین اندازه و وزن مخصوص غده را کاهش داد ولی هیچ تاثیری بر روی تعداد غده در بوته نداشت (Miller and Martin, 1987). مرحلهٔ رشد استولون‌ها و شروع تشکیل غده‌ها نیز نسبت به تنش خشکی حساس بوده و کمبود رطوبت در این مرحله باعث کاهش تعداد غده در بوته می‌شود، اما بعد از تشکیل و تثبیت تعداد غده تیمارهای آبیاری تاثیری بر تعداد غده‌ها نداشته و عمده تاثیر تنش خشکی بر اندازه متوسط و وزن غده‌ها بوده است (Minhas and Bansal, 1991). پس از تشکیل شدن غده‌ها وقوع حتی یک دوره

۱- دانش‌آموخته دکتری در رشته فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۲- استاد، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۳- دانشیار، بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکزتحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: nezami@um.ac.ir)
DOI: 10.22067/gsc.v19i1.60189

کوتاه کم‌آبی می‌تواند به کاهش عملکرد غده (Hassanpanah, 2010; Eskandari et al., 2011a; Shi et al., 2015)، کاهش کیفیت (Ta et al., 2003; Ayas and Korukcu, 2010) و کاهش اندازهٔ غده و عملکرد غدهٔ قابل فروش (Ferreira and Goncalves, 2007; Cabello et al., 2012; Alva et al., 2012) منجر شود. مرحله شروع تشکیل غده، که غالبا با مرحله گلدهی گیاه مصادف است، حساس‌ترین مرحله رشدی سیب‌زمینی به کم‌آبی می‌باشد (van Loon, 1981; Alizadeh, 2010) و وقوع تنش خشکی در این مرحله، تعداد غده در بوته را کاهش می‌دهد (Mackerron and Jefferies, 1986). از سوی دیگر اعمال تنش خشکی محدود در مرحله شروع تشکیل غده، باعث تسریع رشد استولون و تحریک آغازش غده می‌شود (Haverkort et al., 1990)، اما اگر تنش خشکی قبل از شروع تشکیل غده انجام گیرد، تعداد غده‌های تولید شده به شدت کاهش می‌یابد (Haverkort and Mackerron, 1995). تنش خشکی به‌ویژه در مرحله تشکیل و رشد غده بیشترین تاثیر منفی را در عملکرد سیب‌زمینی ایجاد می‌کند (Mackerron and Jefferies, 1994; Yuan et al., 2003) با توجه به محدودیت نزولات جوی، کمبود آب یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رسیدن به عملکردهای مطلوب در تولید سیب‌زمینی در کشور محسوب می‌شود، لذا به‌کار بستن روش مدیریتی کم‌آبیاری می‌تواند در شرایط خاصی بسیار مفید و موثر واقع شود. کم‌آبیاری[1] یا صرفه‌جویی در مصرف آب یک راهکار سودمند مدیریت آب در شرایط محدودیت آب آبیاری است (Ati et al., 2012). با این‌که با اعمال روش کم‌آبیاری عملکرد محصول اندکی کاهش می‌یابد، ولی در مقابل کارآیی مصرف آب و سود خالص فعالیت کشاورزی افزایش پیدا می‌کند. تحقیقات متعدد نشان داده‌اند که از نظر کارآیی مصرف آب بین ارقام مختلف سیب‌زمینی تفاوت وجود دارد. همچنین معلوم شده است که کارآیی مصرف آب سیب‌زمینی تحت تاثیر میزان آب آبیاری، سیستم آبیاری، حاصلخیزی خاک، آب و هوای منطقه و غیره تغییر می‌کند. در یک تحقیق نشان داده شد که کارآیی مصرف آب سیب‌زمینی در حدود پنج کیلوگرم غدهٔ تر به ازای هر مترمکعب آب می‌باشد (Iwama and Yamaguchi, 2006).

برای به‌دست آوردن عملکرد مطلوب در سیب‌زمینی محتوی آب خاک نباید از ۵۰ درصد ماکزیمم آب قابل دسترس در ناحیه ریشه کمتر باشد. اوندر و همکاران (Onder et al., 2005) با بررسی اثر کاهش آبیاری بر عملکرد سیب‌زمینی در منطقه مدیترانه‌ای ترکیه نتیجه گرفتند که حداکثر کم‌آبیاری قابل قبول در این منطقه، کاهش میزان آبیاری در حد ۳۳ درصد آبیاری متداول است. آن‌ها نشان دادند که در هر حال کم‌آبیاری حتی در این منطقه با بارش‌های نسبتاً خوب باعث کاهش عملکرد و اجزای عملکرد سیب‌زمینی می‌شود.

در یک تحقیق با به تاخیر انداختن آبیاری به مدت ۳۳ روز پس از سبز شدن محصول (پس از ۲۴۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A) کارآیی مصرف آب افزایش یافت (Mortazavibak et al., 2008). در تحقیق دیگری نیز کم‌آبیاری باعث افزایش کارآیی مصرف آب گردید و علی‌رغم این‌که کم‌آبیاری باعث کاهش عملکرد محصول سیب‌زمینی در واحد سطح شد، ولی درعین حال سبب افزایش کارآیی مصرف آب، افزایش سود خالص و کاهش هزینه‌های تولید شد (Shayan Nejad and Moharrery, 2010). در مطالعات دیگر نیز بیشترین کارآیی مصرف آب سیب‌زمینی در تنش آبی ملایم حاصل شد و بین ارقام سیب‌زمینی از نظر کارآیی مصرف آب تفاوت معنی‌داری وجود داشت (Ghadami Firouzabadi and Parvizi, 2010; Eskandari et al., 2011b). تحقیقات متعدد دیگر نیز نشان داده‌اند که کم‌آبیاری باعث افزایش کارآیی مصرف آب در سیب‌زمینی می‌شود (Hassan et al., 2002; Fulai et al., 2006). برعکس، تعدادی از محققان نتیجه گرفته‌اند که با کاهش سطح تامین آب آبیاری کارآیی مصرف آب کاهش می‌یابد و افزایش میزان آبیاری به افزایش کارآیی مصرف آب منجر می‌شود (van Loon, 1981; Baghani, 2009). البته علاوه از مقدار آب عوامل دیگری نیز مانند سیستم آبیاری (Heydari, 2011; Erdem et al., 2006)، فصل کشت (Nagaz et al., 2007)، اقلیم منطقه (Wright and Stark, 1990; Fabeiro et al., 2001) و نوع و مقدار کود مصرفی (Sobhani and Hamidi, 2013) نیز روی کارآیی مصرف آب سیب‌زمینی تاثیر دارند. لازم به ذکر است که در بسیاری از موارد قابلیت تحمل کمبود شدید آب با عملکرد رابطهٔ منفی دارد و ارقامی که نسبت به کمبود شدید آب سازگاری پیدا کرده‌اند در مواقع تامین بودن آب کافی نمی‌توانند با کارآیی بیشتری از آن استفاده نمایند (Kafi et al., 2012).

برخی تحقیقات نشان داده‌اند که کم‌آبیاری سبب کاهش درصد ماده خشک غده سیب‌زمینی می‌شود (Ghadami Firouzabadi and Parvizi, 2010; Ayas and Korukcu, 2010; Doorenbos and Pruitt, 1977). از طرف دیگر برخی محققان نتیجه گرفته‌اند که کم‌آبیاری هیچ‌گونه تاثیر معنی‌داری بر درصد ماده خشک غده ارقام سیب‌زمینی ندارد، ولی از نظر درصد ماده خشک غده بین ارقام سیب‌زمینی تفاوت معنی‌داری مشاهده نموده‌اند (Eskandari et al., 2011a; Sharma et al., 2014).

در طی ۳۰ سال گذشته تعداد زیادی از ارقام سیب‌زمینی برای کشت و کار در کشور معرفی شده و کشت بعضی از آن‌ها در یک دوره زمانی نسبتاً طولانی به صورتی گسترده متداول شده ولی به‌تدریج و با معرفی ارقام جدید سطح زیر کشت آن‌ها کاهش یافته است. در این

1- Deficit irrigation

جایگزینی‌ها به موضوع واکنش ارقام به کمبود آب، که امروزه چالش اصلی تداوم تولید سیب‌زمینی در کشور محسوب می‌شود، توجه کمتری مبذول شده است (Hassanpanah *et al.*, 2008). لذا هدف این تحقیق بررسی تاثیر کم‌آبیاری بر عملکرد غدهٔ قابل فروش، کارآیی مصرف آب و درصد ماده خشک غدهٔ ۱۰ رقم از ارقام تجاری سیب‌زمینی و شناسایی رقم (ارقام) با عملکرد غدهٔ قابل فروش بالا، کارآیی مصرف آب بالا و درصد مادهٔ خشک غده بیشتر بود.

مواد و روش‌ها

روش اجرای آزمایش

این پژوهش در سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل اجرا شد. آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی و در سه تکرار انجام گرفت. عامل اصلی سه سطح آبیاری (تامین ۱۰۰، ۸۰ و۶۰ درصد نیاز آبی) و عامل فرعی ۱۰ رقم سیب‌زمینی (خاوران، ساوالان، لوکا، ساتینا، سانته، مارفونا، کایزر، آگریا، آئولا و دراگا) بودند. علت انتخاب ارقام یاد شده بازگشت به نتایج آزمایشات قبلی، پر محصولی و کیفیت مناسب آن‌ها نسبت به سایر ارقام کاشت شده در منطقه بود. هر کرت آزمایشی شامل شش ردیف به طول ۴/۵ متر بود. فاصلهٔ ردیف‌های کاشت از یکدیگر ۷۵ سانتی‌متر وفاصلهٔ غده‌ها روی ردیف‌ها ۲۵ سانتی‌متر در نظرگرفته شد. فاصله کرت‌ها از یکدیگر یک متر و بین بلوک‌ها دو متر به‌عنوان حاشیه در نظر گرفته شد. زمین محل اجرای آزمایش سال قبل (در هر دوسال آزمایش) زیرکشت گندم بود و پس از برداشت گندم، در فصل پاییز همان سال شخم عمیق زده شد و در اوایل بهار سال بعد پس از انجام شخم مجدد، کودپاشی و دیسک‌زنی انجام گرفت.

خاک اراضی این منطقه جزء خاک‌های لومی رسی بوده و از نظر مواد آلی فقیر و مقدار آن ۰/۹درصد و هدایت الکتریکی آن یک میلی‌موس می‌باشد. اسیدیته (pH) اراضی منطقه یاد شده، حدود ۷/۱ بوده و از نظر زهکشی مناسب و سطح سفره‌ی آب زیرزمینی آن خیلی عمیق است. بر اساس نتایج آنالیز خاک مقدار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود سولفات پتاسیم، ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار فسفات آمونیوم و ۲۵۰ در هکتار کود اوره به خاک داده شد. کود اوره در دو مرحله کاشت و خاک‌دهی اول پای بوته مورد استفاده قرار گرفت. غده‌های سیب‌زمینی قبل از کاشت با قارچ‌کش کاربوکسین تیرام ضد عفونی گردید. در طول فصل رویشی در مواقع لزوم وجین علف‌های هرز به‌صورت دستی در چندین نوبت انجام گرفت و برای کنترل خسارت سوسک کلرادوی سیب‌زمینی در یک مرحله و هنگامی که بیش از ۵۰ درصد تخم‌های نسل اول حشره به لارو تبدیل شده بودند مزرعهٔ آزمایشی با حشره‌کش کونفیدور به نسبت ۲۵۰ میلی‌لیتر در هکتار طبق عرف محل سم‌پاشی شد. ضمناً به منظور پیشگیری از بیماری سفیدک دروغی (سوختگی دیررس)، مزرعه در یک نوبت در اواسط خرداد ماه با استفاده از قارچ‌کش مانکوزب به مقدار یک کیلوگرم در هکتار سمپاشی گردید.

روش اعمال تیمارهای آبیاری

برای تعیین کارآیی مصرف آب ارقام سیب‌زمینی، میزان آب مورد استفاده در هر نوبت آبیاری برای هر یک از سه تیمار آبیاری (حجم آب مورد استفاده در آبیاری کامل ۱۱۱۳۵ متر مکعب، در تنش ملایم آبی ۸۹۰۸ متر مکعب و در تنش آبی شدید ۶۶۸۱ متر مکعب بود) که توسط کنتور آب اندازه‌گیری می‌شد، یادداشت شده و در آخر فصل برداشت جمع مقادیر یاداشت‌برداری شده محاسبه گردید. ضمناً در هریک از سال‌های آزمایش مقدار بارندگی موثر مرتبط با فصل رشد از ایستگاه هواشناسی سینوپتیک اردبیل واقع در چهار کیلومتری مزرعه آزمایشی تهیه شد (جدول ۱).

جدول ۱- آمار هواشناسی مربوط به فصل رویش سیب‌زمینی در دوره دوساله (۱۳۹۲ و ۱۳۹۳)

Table 1- Weather data for potato growing season during two year (2013 and 2014)

ماه (Month)	تبخیر Evaporation (mm)		ساعات آفتابی Sunshine hours		بارندگی Rainfall (mm)		رطوبت نسبی Relative humidity		دما Temperature (°C)	
	1392	1393	1392	1393	1392	1393	1392	1393	1392	1393
اردیبهشت (May)	150.3	173.0	247.0	251.9	48.1	35.4	66.0	60.5	11.2	15.3
خرداد (June)	168.5	203.3	280.1	283.5	57.3	24.5	67.0	61.0	16.1	17.8
تیر (July)	214.5	238.1	346.9	287.4	0.70	12.2	63.7	67.0	17.5	19.4
مرداد (August)	182.6	302.8	253.9	335.8	16.0	0.40	71.0	51.0	17.3	19.8
شهریور (September)	200.4	231.6	275.0	274.4	6.40	0.60	68.0	65.0	18.3	18.8
جمع (Total)	916.3	1148.8	1402.9	1433	128.5	73.1	-	-	-	-
میانگین (Average)	-	-	-	-	-	-	67.1	60.9	16.1	18.2

آبیاری اولیه صورت کامل انجام گرفت. زمان شروع آبیاری اول در اردبیل برای گیاه سیب‌زمینی بر اساس عرف منطقه و کارهای تحقیقاتی انجام شده پس از ۳۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A در نظر گرفته شد (Hassanpanah *et al*., 2008)، که این زمان مصادف با حدود ۱۵ روز پس از کاشت غده‌ها بود. جهت تعیین میزان آب مورد نیاز در آبیاری کامل اولیه از رابطهٔ (۱) استفاده شد:

(۱) مساحت کرت× ضریب گیاهی× مقدار تبخیر از سطح تشتک تبخیر× ضریب تشتک = مقدار نیاز آبی گیاه

با توجه به مساحت کرت آزمایشی مقدار آب مورد نیاز در مراحل ابتدایی رشد (که ضریب گیاهی برابر با ۰/۵ است) به‌صورت زیر تعیین شد:

متر مکعب ۰/۲۸۵ = ۲۷ × ۰٫۵ × ۰/۰۳ × ۰/۷ = مقدار نیاز آبی گیاه برای هر کرت

بعداز محاسبه نیاز آبی برای آبیاری کامل در دور اول، مقدار آن برای تیمار۸۰ درصد و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه به ترتیب معادل ۰/۲۲۸ و ۰/۱۷۱ متر مکعب محاسبه گردید. آب مورد نیاز توسط لوله‌های پی وی سی و بعد از عبور از کنتور شمارش‌گر به هر کرت داده شد. آبیاری‌های بعدی با توجه به دور آبیاری انجام گرفت. بدین منظور به جای تنظیم دور آبیاری بر مبنای تقویم یا برنامه ثابت در طول فصل رشد، دور آبیاری از رابطه (۲) به‌دست آمد (Allen *et al*., 1998):

$$I = RAW / (ET_c - Re) \quad (۲)$$

I: دور آبیاری برحسب روز

RAW: مقدار آب سهل‌الوصول در خاک برحسب میلی‌متر

ET_c: مقدار تبخیر و تعرق واقعی برحسب میلی‌متر در روز

Re: مقدار باران موثر برحسب میلی‌متر در روز

در آخر فصل رشد محصول، پس از برداشت کرت‌های آزمایشی و تعیین عملکرد غده در هکتار، کارآیی مصرف آب ارقام مختلف سیب‌زمینی با استفاده از معادلهٔ (۳) محاسبه گردید (Zhang *et al*., 1999).

$$WUE = TY / TWU + Re \quad (۳)$$

در این معادله WUE عبارت است از کارآیی مصرف آب؛ TYعبارت است از عملکرد غده (تن/ هکتار) و TWU عبارت است از کل آب مصرف شده توسط محصول (متر مکعب /هکتار) و Re عبارت است از باران موثر.

در پایان فصل رشد جهت تعیین عملکرد غدهٔ قابل فروش از هر کرت آزمایشی غده‌های گیاهان موجود در سطحی معادل ۷/۵ مترمربع (پس از حذف حاشیه‌ها) برداشت و به آزمایشگاه انتقال داده شد. سپس غده‌هایی که اندازهٔ آن‌ها ۳۵ میلی‌متر یا بیشتر بود به‌عنوان غده‌های قابل فروش تفکیک (Shahnazari *et al*., 2008) و وزن آن‌ها تعیین شد. به‌منظور تعیین درصد ماده خشک غده، از غده‌های برداشت شده از هر کرت مقدار ۳۰۰ گرم غده به صورت تصادفی انتخاب و با استفاده از کارد آشپزخانه به قطعات مکعبی شکلی به اندازه تقریبی یک سانتی‌متر مکعب بریده شده و به مدت ۴۸ ساعت در داخل آون تنظیم شده در دمای ۷۵ درجه سلسیوس تا تثبیت وزن آن‌ها خشکانده شده و مجدداً توزین گردید. از طریق تقسیم کردن وزن خشک به وزن تر غده‌ها، درصد ماده خشک غده محاسبه گردید (Eskandari *et al*., 2011b).

محاسبات آماری

ابتدا بر روی داده‌های حاصل از اندازه‌گیری صفات مورد مطالعه آزمون نرمال بودن به روش اسمیرینوف-کولموگراف انجام شد، سپس با توجه به نرمال بودن کلیه داده‌ها تجزیه واریانس ساده اجرا و مقایسات میانگین صفات بر اساس آزمون توکی با نرم‌افزار آماری SAS (ver 9.1) انجام گرفت.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر سال؛ آبیاری؛ آبیاری × سال؛ رقم؛ آبیاری × رقم و سال× رقم بر عملکرد غدهٔ قابل فروش و کارآیی مصرف آب معنی‌دار بود (جدول ۲). در شرایط آبیاری کامل ارقام خاوران، ساوالان، لوکا و آئولا نسبت به بقیهٔ ارقام بیشترین عملکرد غدهٔ قابل فروش و ارقام دراگا و کایزر کمترین عملکرد غدهٔ قابل فروش را تولید کردند (جدول ۳). در تنش آبی ملایم بیشترین عملکرد غدهٔ قابل فروش در رقم خاوران (۳۱/۲ تن در هکتار) وکمترین مقدار آن در رقم دراگا (۲۴/۷ تن در هکتار) به‌دست آمد، ولی از نظر درصد کاهش عملکرد غدهٔ قابل فروش نسبت به آبیاری کامل کمترین کاهش در رقم کایزر (۱- درصد) و بیشترین کاهش در دو رقم مارفونا و ساوالان (۱۸- درصد) مشاهده گردید. در شرایط تنش آبی شدید بیشترین و کمترین عملکرد غدهٔ قابل فروش به‌ترتیب در ارقام ساتینا (۲۸/۹ تن در هکتار) و دراگا (۱۹/۱ تن در هکتار) حاصل شد، ولی از نظر درصد کاهش عملکرد غدهٔ قابل فروش نسبت به آبیاری کامل کمترین و بیشترین مقدار کاهش به‌ترتیب در ارقام کایزر (۱۲- درصد) و آگریا (۳۴- درصد) به‌دست آمد (جدول ۳). بیشترین کارآیی مصرف آب در رقم کایزر (۴/۲۸ کیلوگرم غده قابل فروش بر هر مترمکعب آب) و کمترین مقدار آن در رقم مارفونا (۳/۱۵ کیلوگرم غده قابل فروش بر هر مترمکعب آب) به‌دست آمد (جدول ۳). در شرایط تنش آبی ملایم، بیشترین کارآیی مصرف آب در رقم ساتینا (۴/۱۲ کیلوگرم غده قابل فروش بر هر مترمکعب آب) و کمترین مقدار آن در رقم آگریا (۳۲/۲ کیلوگرم غده قابل فروش بر هر مترمکعب آب) حاصل شد. در شرایط تنش آبی شدید، بیشترین کارآیی

مصرف آب در رقم ساتینا (۸۵/۸ کیلوگرم غده قابل فروش بر هر مترمکعب آب) و کمترین مقدار آن در رقم مارفونا (۴۲/۲ کیلوگرم غده قابل فروش بر هر مترمکعب آب) به‌دست آمد. در تنش آبی ملایم کارایی مصرف آب اکثر ارقام تا حدودی افزایش یافت و بیشترین و کمترین افزایش نسبت به آبیاری کامل به‌ترتیب در ارقام آئولا (+۱۵٪) و آگریا و کایزر (-۴٪) مشاهده شد. در تنش آبی شدید نیز کارایی مصرف آب اکثر ارقام افزایش یافت و بیشترین و کمترین افزایش نسبت به آبیاری کامل به‌ترتیب در ارقام ساتینا (+۵۰٪) و مارفونا (-۲۹٪) حاصل شد (جدول ۳).

میانگین کارآیی مصرف آب برای ۱۰ رقم سیب‌زمینی در شرایط آبیاری کامل، تنش آبی ملایم و تنش آبی شدید به‌ترتیب ۳/۳۹، ۳/۳۸ و ۳/۷۸ کیلوگرم بر متر مکعب محاسبه گردید که نشان‌دهنده‌ی عدم وجود تفاوت معنی‌دار بین آبیاری کامل و تنش آبی ملایم و تاثیر مثبت تنش آبی شدید روی کارآیی مصرف آب ارقام سیب‌زمینی می‌باشد. در تحقیقات قدمی فیروزآبادی و پرویزی (Ghadami Firouzabadi and Parvizi, 2010) و شایان نژاد و موهاری (Shayan Nejad and Moharrery, 2010) بیشترین کارآیی مصرف آب در تنش آبی ملایم (تامین ۸۰ درصد نیازآبی سیب‌زمینی) حاصل گردید و در تحقیق بهراملو و ناصری (Bahramloo and Nasseri, 2010) و وزارت جهاد کشاورزی (Ministry of Agricultural Jahad, 2014) و نیز بیشترین کارآیی مصرف آب در تنش آبی ملایم و در تیمار آبیاری با تاخیر دو هفته‌ای در مراحل اولیه رشد سیب‌زمینی به‌دست آمد. در حالی‌که نتایج به‌دست آمده از تحقیق حاضر نشان داد که از نظر کارآیی مصرف آب بین تیمار آبیاری کامل و تنش آبی ملایم (آبیاری با ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه) تفاوت معنی‌داری وجود ندارد، اما در تیمار تنش شدید آبی (آبیاری با ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه) کارآیی مصرف آب به‌طور بسیار معنی‌داری نسبت به تیمار آبیاری نرمال و تنش آبی ملایم بیشتر بود (جدول ۳). دلیل احتمالی این مغایرت، تفاوت در شرایط اقلیمی دو منطقه می‌باشد. قبلاً حسن پناه (Hassanpanah, 2010) نیز نشان داده است که در منطقهٔ اردبیل کارآیی مصرف آب سیب‌زمینی در شرایط تنش شدید بیشتر از شرایط تنش ملایم و آبیاری کامل است.

حیدری پور و همکاران (Heydari Pour *et al.*, 2014) نشان دادند که در سه محصول ذرت، چغندرقند و کنجد کاهش ۲۵ درصدی آب مورد نیاز، کارآیی مصرف آب این محصولات زراعی را فقط ۱۶ درصد کاهش داد. لذا ایشان پیشنهاد کردند که کم‌آبیاری می‌تواند یکی از روش‌های بالا بردن کارآیی مصرف آب در کشاورزی باشد. در تحقیق دیگر نتیجه‌گیری شد که متناسب با افزایش شدت تنش کم‌آبی کارآیی مصرف آب در سیب‌زمینی کاهش پیدا می‌کند (Kashyap and Panda, 2001). بیوکما و واندرزاگ (Beukema and van der Zaag, 1990) نتیجه گرفتند که در تنش کم‌آبی ملایم، که باعث بسته شدن جزئی روزنه‌های سیب‌زمینی می‌شود، میزان تبخیر و تعرق بیشتر از میزان فتوسنتز کاهش می‌یابد و در نتیجه کارآیی مصرف آب افزایش پیدا می‌کند.

جدول ۲- منابع تغییر، درجه آزادی و میانگین مربعات عملکرد غدهٔ قابل فروش، کارآیی مصرف آب و درصد ماده خشک ارقام سیب‌زمینی تحت تاثیر کم آبیاری

Table 2- Sources of variation, degrees of freedom and mean of squares of marketable tuber yields, water use efficiency and tuber dry matter of potato cultivars under water stress

منابع تغییر Sources of variation	درجه‌آزادی d.f	عملکرد غده قابل فروش Marketable tuber yield	کارآیی مصرف آب Water use efficiency	درصد ماده خشک Dry matter %
سال (Year)	1	4919**	92.7**	0.242 ns
اشتباه ۱ (Error 1)	4	86.06	2.31	0.70
آبیاری (Irrigation)	2	1093**	5.81**	0.949 ns
آبیاری × سال (Irrigation× Year)	2	79.86*	3.83**	0.009 ns
اشتباه ۲ (Error 2)	8	3.28	0.22	0.70
رقم (Cultivar)	9	111**	4.54**	44.94 **
آبیاری × رقم (Irrigation× Cultivar)	18	114**	1.47**	0.16 ns
سال × رقم (Cultivar × Year)	9	172**	7.75**	0.93 ns
سال × آبیاری × رقم (Year × Irrigation× Cultivar)	18	16.32 ns	1.06 ns	0.41 ns
اشتباه ۳ (Error 3)	108	26.41	0.54	0.70
ضریب تغییرات (درصد) (C.V)		18.1	19.2	4.0

ns، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns , * and ** respectively insignificant and significant at 5% and 1%

جدول۳- مقایسه میانگین کارآیی مصرف آب ۱۰ رقم سیب‌زمینی در تیمارهای آبیاری

Table 3- Mean comparison of water use efficiency of 10 potato cultivars under water stress

تنش آبی Water Stress	Cultivars	عملکرد غده قابل فروش Marketable tuber yield		درصد تغییرات نسبت به آبیاری کامل Percent variation compared to normal irrigation	کارآیی مصرف آب Water useefficiency		درصد تغییرات نسبت به آبیاری کامل Percent variation compared to normal irrigation
آبیاری با تامین ۱۰۰ درصد آب مورد نیاز Irrigation with 100% of required water	خاوران	37.0	a *	----	3.82	b-d	----
	ساوالان	36.3	ab	----	3.59	b-d	----
	لوکا	33.8	a-c	----	3.68	b-d	----
	ساتینا	33.8	a-c	----	3.91	b-d	----
	سانته	32.1	a-d	----	3.65	b-d	----
	مارفونا	31.8	a-d	----	3.15	cd	----
	کایزر	27.6	a-e	----	4.28	a-c	----
	آگریا	31.5	a-d	----	3.38	cd	----
	آئولا	34.6	a-c	----	3.39	cd	----
	دراگا	27.5	a-e	----	3.19	cd	----
آبیاری با تامین ۸۰ درصد آب مورد نیاز Irrigation with 80% of required water	خاوران	31.2	a-d	-16	3.84	b-d	-
	ساوالان	29.8	a-e	-18	3.74	b-d	+4
	لوکا	29.4	a-e	-13	3.80	b-d	+3
	ساتینا	29.6	a-e	-12	4.12	bc	+4
	سانته	28.7	a-e	-11	3.61	b-d	-1
	مارفونا	26.2	a-e	-18	3.54	cd	+12
	کایزر	27.3	a-e	-1	4.10	bc	-4
	آگریا	29.2	a-e	-7	3.23	cd	-4
	آئولا	29.5	a-e	-15	3.91	b-d	+15
	دراگا	24.7	b	-10	3.43	cd	+8
آبیاری با تامین ۶۰ درصد آب مورد نیاز Irrigation with 60% of required water	خاوران	27.4	a-e	-26	4.63	a-c	+21
	ساوالان	24.5	b-e	-33	5.24	ab	+46
	لوکا	26.1	a-e	-23	4.43	a-c	+20
	ساتینا	28.9	a-e	-15	5.88	a	+50
	سانته	23.6	c-e	-26	3.79	b-d	+3
	مارفونا	21.0	de	-33	2.24	d	-29
	کایزر	24.1	c-e	-12	4.46	a-c	+4
	آگریا	20.9	de	-34	3.22	cd	-5
	آئولا	24.8	b-e	-28	4.29	a-c	+27
	دراگا	19.1	e	-31	3.77	b-d	+18

* در هرستون میانگین‌های با حروف مشابه، بر اساس آزمون توکی درسطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

In each column the means with similar letters are not significantly different at the 5% level

علامت + معرف افزایش و علامت – معرف کاهش می‌باشد.

Symbols + and - are indications of increase and decrease

ولی برعکس، در شرایط تنش کم‌آبی بسیار شدید روزنه‌ها به‌طور کامل بسته می‌شوند که این موضوع سبب کاهش کارآیی مصرف آب و عملکرد می‌شود. نتایج ضد و نقیض گزارش شده توسط محققان مختلف در رابطه با تاثیر تنش خشکی روی کارآیی مصرف آب در سیب‌زمینی ممکن است با شدت تنش خشکی وارد شده به محصول و مرحلهٔ رشدی محصول نیز که تحت شرایط تنش قرار می‌گیرد مرتبط باشد (Cantore *et al*., 2014). البته علاوه بر میزان آبیاری نوع رقم نیز ممکن است روی کارآیی مصرف آب در سیب‌زمینی موثر باشد.

اخوان و همکاران (Akhavan *et al*., 2007) نشان دادند که بین ارقام سیب‌زمینی از نظر کارآیی مصرف آب تفاوت وجود دارد و در

میان ارقام مورد مطالعهٔ ایشان رقم آگریا بیشترین کارآیی مصرف آب (۳,۷۱ کیلوگرم بر مترمکعب) را داشت. در تحقیق حاضر رقم متداول آگریا از این نظر در سه تیمار آبیاری کامل، تنش آبی ملایم و تنش آبی شدید در میان ۱۰ رقم مورد مطالعه به‌ترتیب در جایگاه‌های هشتم، دهم و نهم قرار گرفت. قدمی فیروزآبادی و پرویزی (Ghadami Firouzabadi and Parvizi, 2010) اثر کم‌آبیاری را بر عملکرد و کارآیی مصرف آب کلون‌های جدید سیب‌زمینی مورد بررسی قرار داده و دریافتند که بیشترین کارآیی مصرف آب سیب‌زمینی در تنش آبی ملایم (آبیاری با ۸۰ درصد نیاز آبی) به‌دست می‌آید و از این نظر بین کلون‌های مورد مطالعه ایشان نیز تفاوت وجود داشت و کلون ۲-۳۹۷۰۸ (که در سال‌های بعد به نام رقم ساوالان نام‌گذاری گردید) با تولید ۴/۸۸ کیلوگرم غده بر مترمکعب آب بیشترین مقدار کارآیی مصرف آب را نشان داد. در تحقیق حاضر نیز رقم ساوالان با تولید ۵/۲۴ کیلوگرم غده بر مترمکعب آب پس از رقم ساتینا در جایگاه دوم قرار گرفت. محققان دیگری (Eskandari *et al*., 2011b) نیز نشان داده‌اند که در میان ارقام سیب‌زمینی از نظرکارآیی مصرف آب تفاوت معنی‌داری وجود دارد و بیشترین کارآیی مصرف آب سیب‌زمینی در آبیاری با ۷۰ درصد نیاز آبی حاصل گردید. در میان سه رقم سیب‌زمینی مورد مطالعهٔ ایشان در تیمار با تامین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه، رقم اِلمرا و در تیمار با تامین ۷۰ درصد نیاز آبی گیاه رقم آگریا بیشترین مقدار کارآیی مصرف آب (۳/۷۱ کیلوگرم بر مترمکعب) را داشتند. حسن‌پناه (Hassanpanah, 2010) نیز در بررسی‌های خود دریافت که از نظرکارآیی مصرف آب بین ارقام سیب‌زمینی تفاوت وجود دارد. طبق نتایج ایشان در شرایط آبیاری کامل و آبیاری با ۸۰ و۶۰ درصد نیاز آبی به‌ترتیب ارقام ساوالان، کایزر و کِنِبک بالاترین کارآیی مصرف آب را نشان دادند و میانگین کارآیی مصرف آب از ۶/۵۶ کیلو گرم بر مترمکعب آب در آبیاری کامل به ۷/۹ کیلوگرم بر مترمکعب آب در شرایط تنش آبی شدید افزایش یافت. با توجه به این‌که در تحقیق حاضر در میان ۱۰ رقم سیب‌زمینی مورد بررسی رقم ساتینا به‌ویژه در شرایط تنش شدید کم‌آبی بالاترین کارآیی مصرف آب را نشان داد، بنابراین می‌توان از این رقم در شرایط محدود بودن شدید آب آبیاری استفاده نمود. یارنیا و همکاران (Yarnia *et al*., 2011) که تاثیر سطوح مختلف آبیاری را بر کارآیی مصرف آب چهار رقم سیب‌زمینی آگریا، گرانولا، کایزر و کارا بررسی کرده‌اند، دریافتند که در شرایط آبیاری کامل بیشترین کارآیی مصرف آب در رقم آگریا حاصل گردید، ولی در شرایط تامین ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه رقم آگریا برتری نسبی خود را از دست داد و در این شرایط رقم کایزر از بالاترین کارآیی مصرف آب برخوردار گردید. در تحقیق حاضر رقم کایزر در شرایط تنش آبی شدید از نظر کارآیی مصرف آب در جایگاه چهارم قرار گرفت. بهراملو و ناصری (Bahramloo and Nasseri, 2010) نیز دریافتند که تاثیر تیمارهای آبیاری برکارآیی مصرف آب رقم سانته معنی‌دار بود و بیشترین کارآیی مصرف آب (۲/۲۴ کیلوگرم بر مترمکعب آب) در تیمار آبیاری با دو هفته تاخیر در مراحل اولیهٔ رشد و کمترین مقدار آن (۱/۹۶ کیلوگرم بر مترمکعب آب) در آبیاری کامل به‌دست آمد. در تحقیق حاضر رقم سانته در مقایسه با اکثر ارقام مورد مطالعه از کارآیی مصرف آب کمتری برخوردار بود و مقدار آن در آبیاری کامل، تنش آبی ملایم و تنش آبی شدید به‌ترتیب برابر با ۳/۶۵، ۳/۶۱ و ۳/۷۹ کیلوگرم بر مترمکعب آب به‌دست آمد. البته این مقادیر به مقدار قابل‌توجهی بیشتر از یافته‌های بهراملو و ناصری (Bahramloo and Nasseri, 2010) است که دلیل احتمالی این تفاوت، شرایط اقلیمی و شرایط خاک متفاوت در این دو منطقه آزمایش می‌باشد.

عوامل دیگری مانند شرایط اقلیمی، ویژگی‌های خاک زراعی، عناصر غذایی خاک و نوع و میزان کود مصرفی نیز ممکن است روی کارآیی مصرف آب در سیب‌زمینی موثر باشند. گزارش شده است که کارآیی مصرف آب در سیب‌زمینی بر حسب منطقه، نوع مدیریت آبیاری و نوع و مقدار کودهای مصرف شده از ۵/۴ تا ۱۲ کیلوگرم بر مترمکعب آب متغیر بوده است (Wright and Stark, 1990). فابیرو و همکاران (Fabeiro *et al*., 2001) گزارش کردند که در شرایط اقلیمی اسپانیا کارآیی مصرف آب سیب‌زمینی ۶/۳ تا ۸/۶ کیلوگرم بر مترمکعب آب بوده است. یونلو و همکاران (Unlu *et al*., 2006) کارآیی مصرف آب سیب‌زمینی را در منطقهٔ آناتولی ترکیه بسته به نوع سیستم آبیاری و میزان کود نیتروژن مصرف شده ۴/۸ تا ۷/۴ کیلوگرم بر مترمکعب آب گزارش نمودند. در منطقهٔ نیمه‌خشک تِراکیه در کشور تُرکیه با میانگین بارندگی سالانهٔ ۵۷۵ میلی‌متر کارآیی مصرف آب در سیستم آبیاری قطره‌ای به مراتب بیشتر از سیستم آبیاری نشتی بوده و بیشترین کارآیی مصرف آب (۹/۴۷ کیلوگرم بر مترمکعب) در تیمار آبیاری قطره‌ای و پس از مصرف شدن ۳۰٪ آب قابل دسترس و کمترین مقدار آن (۴/۷۰ کیلو گرم بر مترمکعب) در تیمار آبیاری نشتی و پس از مصرف شدن ۵۰٪ آب قابل دسترس حاصل گردید (Erdem *et al*., 2006). آتی و همکاران (Ati *et al*., 2012) نیز نشان دادند که کارآیی مصرف آب سیب‌زمینی در روش آبیاری قطره‌ای (تیپ) (۱۰/۲۶ کیلوگرم بر مترمکعب آب) به مراتب بیشتر از روش آبیاری نشتی (۵/۱۳ کیلوگرم بر مترمکعب آب) می‌باشد. اخوان و همکاران (Akhavan *et al*., 2007) نیز نتیجه گرفتند که در آبیاری قطره‌ای کارآیی مصرف آب سیب‌زمینی به مراتب بیشتر (۴/۶۸ کیلوگرم بر متر مکعب) از روش آبیاری نواری (۳/۳۲ کیلوگرم بر مترمکعب) بود. در تحقیق ایشان رقم اِلمرا در تیمار آبیاری با تامین ۱۰۰ درصد نیاز آبی سیب‌زمینی بیشترین کارآیی مصرف آب را نشان داد، در حالی‌که در شرایط اِعمال تنش آبی ملایم (آبیاری با تامین ۷۰ درصد نیاز آبی گیاه) در دورهٔ قبل از آغازش غده رقم آگریا بیشترین کارآیی مصرف آب (۳/۷ کیلوگرم بر مترمکعب) را داشت. ایشان نشان دادند که

کارآیی مصرف آب سیب‌زمینی در روش آبیاری قطره‌ای تیپ وسط پشته نسبت به آبیاری نواری ۱/۱ کیلوگرم بر مترمکعب بیشتر است. ناگاز و همکاران (Nagaz *et al.*, 2007) گزارش کردند که کارآیی مصرف آب سیب‌زمینی بر حسب فصل کشت (پاییزه، زمستانه و بهاره) متفاوت بوده و مقدار آن برای کشت‌های پاییزه، زمستانه و بهاره به‌ترتیب ۹-۸، ۸-۶ و۱۴-۱۱ کیلوگرم بر مترمکعب آب بوده است و کمترین کارآیی مصرف آب از آبیاری کامل روزانه حاصل شده است. نتایج به‌دست آمده از تحقیق حاضر با یافته‌های تعدادی از محققان (Badr *et al.*, 2012; Mortazavibak *et al.*, 2008; Allen and Scott, 1992; De Wit, 1958) مطابقت داشته ولی با یافته‌های عده‌ای دیگر (Kashyap and Panda, 2001; Wang *et al.*, 2007; Shayan Nejad and Moharrery, 2010) در تناقض می‌باشد که این تفاوت احتمالا از متفاوت بودن شرایط آزمایشی ناشی شده است.

اثر تیمارهای آبیاری روی درصد ماده خشک غده معنی‌دار نبود، ولی از این نظر بین ارقام سیب‌زمینی تفاوت معنی‌داری مشاهده گردید و بیشترین و کمترین ماده خشک به‌ترتیب در ارقام ساوالان (۲۳/۶۶ درصد) و دراگا (۱۸ درصد) به‌دست آمدند (جدول ۴).

جدول ٤- مقایسه میانگین درصد ماده خشک غده ارقام سیب‌زمینی

Table 4- Comparison of the means of percent tuber dry matter of potato cultivars

ارقام	خاوران	ساوالان	لوکا	سانتیا	سانته	مارفونا	کایزر	آگریا	آئولا	دراگا
میانگین	22.1 b*	23.6 a	21.6 bc	20.5 fe	21.1 cd	19.0 g	20.2 f	21.3 cd	21.0 df	18.0 h

* میانگین‌های با حروف مشابه در هر ردیف، بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

In each column the means with similar letters are not significantly different at the 5% level

در مطالعاتی که در همدان روی تاثیر کم‌آبیاری روی درصد ماده خشک غده پنج کلون سیب‌زمینی انجام گرفت معلوم گردید که بیشترین میزان درصد ماده خشک غده در تیمار آبیاری با تامین ۶۰ درصد آب مورد نیاز حاصل می‌شود (Ghadami Firouzabadi and Parvizi, 2010). از طرف دیگر اسکندری و همکاران (Eskandari *et al.*, 2011a) در تحقیقاتی که در مشهد انجام دادند نتیجه گرفتند که کم‌آبیاری هیچ‌گونه تاثیر معنی‌داری بر درصد ماده خشک غده ارقام سیب‌زمینی ندارد، ولی از نظر درصد ماده خشک غده بین سه رقم سیب‌زمینی مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری وجود داشت و در شرایط آبیاری کامل، رقم اِلمرا بیشترین درصد ماده خشک غده را تولید کرد. از طرف دیگر آیاز و کوروکو (Ayas and Korukcu, 2010) نشان دادند که بین درصد ماده خشک غده با میزان آب مورد استفاده در آبیاری همبستگی مثبت و خطی وجود دارد، ولی شارما و همکاران (Sharma *et al.*, 2014) در هندوستان نتیجه گرفتندکه کم‌آبیاری بر درصد ماده خشک غده سیب‌زمینی بی‌تاثیر است. نتایج به‌دست آمده از تحقیقات حاضر دراین زمینه با یافته‌های اسکندری و همکاران (Eskandari *et al.*, 2011a) و شارما و همکاران (Sharma *et al.*, 2014) همسو بوده ولی با نتایج تحقیقات آیاز و کوروکو (Ayas and Korukcu, 2010) و قدمی فیروزآبادی و پرویزی (Ghadami Firouzabadi and Parvizi, 2010) در تناقض می‌باشد. دلیل این تناقض احتمالا شرایط اقلیمی حاکم بر این آزمایش‌های صحرایی و یا متفاوت بودن ارقام سیب‌زمینی مورد مطالعه در این تحقیقات می‌باشد و نشان‌دهنده لزوم انجام تحقیقات دقیق‌تر و جامع‌تر در این زمینه است.

درصد مادۀ خشک سیب‌زمینی به‌ویژه از نظر فراوری این محصول توسط صنایع فراوری اهمیت زیادی دارد و هر اندازه درصد مادۀ خشک یک محصول بیشتر باشد به همان نسبت در فرایند سرخ کردن و تهیۀ چیپس مقدار کمتری روغن به مصرف می‌رسد و همین موضوع باعث افزایش سود کارخانۀ فراوری‌کنندۀ سیب‌زمینی می‌شود و به همین دلیل کارخانه‌های فراوری‌کنندۀ سیب‌زمینی به خرید محصول با درصد مادۀ خشک بالا تمایل بیشتری نشان می‌دهند. در تحقیق حاضر درصد مادۀ خشک رقم ساوالان به‌طور معنی‌داری بیشتر از بقیۀ ارقام مورد بررسی بود. بنابراین، توصیه می‌شود در مواقعی که بازار هدف صنایع فراوری سیب‌زمینی می‌باشد رقم ساوالان مورد کشت قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر رقم ساتینا از لحاظ عملکرد غده قابل فروش و کارآیی مصرف آب در شرایط تنش کم‌آبیاری بهتر از ارقام دیگر ظاهر شد ولی از نظر درصد ماده خشک غده رقم ساوالان حائز رتبه اول گردید.

References

1. Akhavan, S., Mousavi, F., Mostsfazadehfard, M., and Ghadami Firouzabadi, A. 2007. Furrow and tape irrigation effects on potato yield and water use efficiency. Agriculture and Natural Resources Sciences and Technologies 11

(41): 16-26. (in Persian with English abstract).
2. Alizadeh, A. 2010. Relations between Water, Soil and Plant. Astane Ghodse Razavi Press. (in Persian).
3. Allen, E. J., and Scott, R. K. 1992. Principles of agronomy and their application in the potato industry. PP 816-882. in: P. Harris ed. Potato Crop. Chapman and Hall Ltd, London. DOI: 10.1007/978-94-011-2340-2_17.
4. Allen, R., Pereira, L. A., Raes, D., and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage, Paper No. 56. FAO, Rome, Italy.
5. Alva, A. K., Moore, A. D and Collins, H. P. 2012. Impact of deficit irrigation on tuber yield and quality of potato cultivars. Journal of Crop Improvement 26: 211-227. https://doi.org/10.1080/15427528.2011.626891.
6. Ati, A. S., Iyada, A. D., and Najim, S. M. 2012. Water use efficiency of potato (*Solanum tuberosum* L.) under different irrigation methods and potassium fertilizer rates. Annals of Agricultural Science 57: 99-103. https://doi.org/10.1016/j.aoas.2012.08.002.
7. Ayas, S., Korukcu, A., 2010. Water-yield relationships in deficit irrigated potato. Journal of Faculty of Agriculture, Uludang University 24: 23-36.
8. Badr, M. A. El-Tohamy, W. A. and Zaghloul, A. M. 2012. Yield and water use efficiency of potato grown under different irrigation and nitrogen levels in an arid region. Agricultural water Management 110: 9-15. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.03.008.
9. Baghani, J. 2009. Effect of planting pattern and water quantity on potato cultivation with drip irrigation in Mashhad. Journal of Water and Soil 23 (1): 153-159. (in Persian with English abstract).
10. Bahramloo, R., Nasseri, A., 2010. Effect of deficit irrigation on yield and water use efficiency of potato cultivar Sante. Iranian Journal of Irrigation and Drainage 1 (4): 90-98. (in Persian with English abstract).
11. Beukema, H. P., and van der Zaag, D. E. 1990. Introduction to Potato Production. PUDOC. Wageningen, the Netherlands.
12. Cabello, R., Monneveux, P., De Mendiburu, F., and Bonierbale, M. 2012. Comparison of yield based drought tolerance indices in improved varieties, genetic stocks and landraces of potato (*Solanum tuberosum* L.). Euphytica 193: 147-156.https://doi.org/10.1007/s10681-013-0887-1.
13. Cantore, V., Wassar, F., Yamac, S. S., Sellami, M. H., Albrizio, R., Stellacci, A. M., and Todorovic, M. 2014. Yield and water use efficiency of early potato grown under different irrigation regimes. International Journal of Plant Production 8: 409-428.
14. De Wit, C. T. 1958. Transpiration and crop yields modeling. Institute voor Biologisch en Scheikundig, Onderzoek van Landbou Wgewassen, Wageningen No.59.
15. Doorenbos, J., and Pruitt, W. O. 1977. Guidelines for predicting crop water requirement. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 24, FAO, Rome, Italy.
16. Erdem, T., Erdem, Y., Orta, H., and Okursoy, H. 2006. Water yield relationship of potato under different irrigation methods and regimes. Scientific Agriculture 63: 226-231.
17. Eskandari, A., Khazaie, H. R., Nezami, A., and Kafi, M. 2011a. Study the effects of irrigation regimes on physiological characteristics of three cultivars of potato (*Solanum tuberosum* L.)**.** Journal of Water and Soil 25 (2): 240-247. (in Persian with English abstract).
18. Eskandari, A., Khazaie, H. R., Nezami, A., Kafi, M., and Majdabadi, A., 2011b. Study the effects of irrigation regimes on physiological characteristics, yield and water use efficiency of potato (*Solanum tuberosum* L.) in Mashhad climate. Journal of Horticulture Sciences 25 (2): 201-210. (in Persian with English abstract).
19. Fabeiro, C., Martin de Santa Olalla, F., and de Juan, J. A. 2001. Yield and size of deficit irrigated potatoes. Agricultural water Management 46: 255-266. https://doi.org/10.1016/S0378-3774(00)00129-3.
20. Ferreira, T. C., and Goncalves, D. A. 2007. Crop-yield/water-use production functions of potato (*Solanum tuberosum* L.) grown under differential nitrogen treatments in a hot, dry climate. Agricultural Water Management 90: 45-55. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2007.02.012.
21. FAO Statistical Database. Agriculture statistics. 2015. Retrived on 14 November 2015 from: http://URL: faostat, fao.org/faostat.
22. Foti, S., Mauromicale, G., and Irna, A. 1995. Influence of irrigation regimes on growth and yield of potato cultivar Spunta. Potato Research 38: 307-318. https://doi.org/10.1007/BF02357733.
23. Fulai, L., Shahnazari, A., Anderson, M. N., Jacobsen, S. E. and Jensen, C. R. 2006. Effects of deficit irrigation and partial root drying on gas exchange, biomass partitioning and water use efficiency in potato. Scientific Horticulture 109: 113-117. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.04.004.
24. Ghadami Firouzabadi, A., Parvizi, Kh. 2010. The effect of deficit irrigation on yield and water use efficiency of new clones of potato in drip tape irrigation. Journal of Water Research in Agriculture 24: 133-144. (in Persian with English abstract).
25. Hassan, A. A., Sarkar, A. A., Ali, M. H., and Karim, N. N. 2002. Effect of deficit irrigation at different growth stages on the yield of potato. Pakistan Journal of Biological Science 5: 128-134.
26. Hassanpanah, D. 2010. Evaluation of potato advanced cultivars against water deficit stress under *in vitro* and *in vivo* conditions. Biotechnology 9: 164-169.

27. Hassanpanah, D., Nikshad, K., and Hassani, M. 2008. Potato tuber production. Jahade Keshavarzi Ardabil. Extention Bulletin No. 34. (in Persian).
28. Haverkort, A. J., and Mackerron, D. K. L. 1995. Potato Ecology and Modeling of Crops Under Conditions Limiting Growth. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
29. Haverkort, A. J., van de Waart, M., and Bodaeader, K. B. A. 1990. The effect of early drought stress on numbers of tubers and stolones of potato in controlled and field conditions. Potato Research 33: 89-96. https://doi.org/10.1007/BF02358133.
30. Heydari Pour, R., Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., and Zare Feize Abadi, A. 2014. The effect of different levels of irrigation and nitrogen fertilizer on productivity and efficiency in corn (*Zea mays* L.), sugar beet (*Beta vulgaris* L.) and sesame (*Sesamum indicum* L.). Journal of Agroecology 2: 187-198. (in Persian with English abstract).
31. Heydari, N. 2011. Determination and evaluation of water use efficiency of some major crops under farmers management in Iran. Journal of Water and Irrigation Management 2: 43-57. (in Persian with English abstract).
32. Iwama, K., and Yamaguchi, J. 2006. Abiotic stresses. PP 231-278 in: S. M. Gopal and P. Khurana, eds, Handbook of Potato Production, Improvement and Post-Harvest Management. Food Production, New York.
33. Kafi, M., Borzoee, A., Salehi, M., Kamandi, A., Masoumi, A., and Nabati, J. 2012 (2nd ed.). Physiology of Environmental Stresses in Plants. Jahad-e- Daneshgahi Press. Mashhad. (in Persian).
34. Kashyap, P. S., and Panda, R. K. 2001. Evaluation of evapotranspiration estimation methods and development of crop-coefficient for potato crop in a sub-humid region. Agricultural Water Management 50: 9-25. https://doi.org/10.1016/S0378-3774(01)00102-0.
35. Mackerron, D. K. L., and Jefferies, R. A. 1986. The influence of early soil moisture stress on tuber numbers in potato. Potato Research 29: 299-312. https://doi.org/10.1007/BF02359959.
36. Mackerron, D. K. L., and Jefferies, R. A. 1994. Seasonal and ontogenetic changes in water use efficiency in potato as indicated by isotope discrimination. Aspects of Applied Biology 38: 101-111.
37. Miller, D. E., and Martin, M. W. 1987. The effect of irrigation regime and subsoiling on yield and quality of three potato cultivars. American Potato Journal 64: 17-26. https://doi.org/10.1007/BF02853226.
38. Minhas, J. S., and Bansal, K. C. 1991. Tuber yield in relation to water stress at different stages of growth in potato. Journal of Indian Potato 18: 1-8.
39. Ministry of Agricultural Jahad, 2014. Crops and Livestock Statistics, 2013-2014. available at: http://www.agrijahad.ir (in Persian).
40. Mortazavibak, A., Aminpour, R., and Mousavi, S. F. 2008. Effects of deficit irrigation at early growth stages on yield of commercial potato cultivars. Iranian Journal of Horticulture Science and Technology 9 (1): 1-10. (in Persian with English abstract).
41. Nagaz, K., Masmoudi, M. M., and Mechlia, N. B. 2007. Soil salinity and yield of drip–irrigated potato under different irrigation regimes with saline water in arid conditions of Southern Tunisia. Journal of Agronomy 6 (2): 324-330.
42. Onder, S., Caliskan, M. E., Onder, D., and Caliskan, S. 2005. Different irrigation methods and water stress effects on potato yield and yield components. Agricultural Water Management 73: 73-86. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2004.09.023.
43. Shahnazari, A., Ahmadia, S. H., Laerke, P. E., Liu, F., and Plauborg, F. 2008. Nitrogen dynamics in the soil-plant system under deficit and partial root-zone drying irrigation strategies in potatoes. European Journal of Agronomy 28: 65-73. https://doi.org/10.1016/j.eja.2007.05.003.
44. Sharma, N., Rawal, S., Kadian, M. S., Arya, S., Bonierbale, M., and Singh, B. P. 2014. Evaluation of advanced potato clones for drought tolerance in arid zone in Rajasthan, Indian Potato Journal 41: 189-195.
45. Shayan Nejad, M., and Moharrery, A. 2010. Effects of water stress on qualitative properties of wheat and potato in Shahrekord. Iranian Journal of Water Research in Agriculture (Formerly Soil and Water Sciences) 24 (1): 65-71. (in Persian with English abstract).
46. Shi, Sh., Fan, M., Iwama, K., Li, F., Zhang, Z., and Jia, L. 2015. Physiological basis of drought tolerance in potato grown under long-term water deficiency. International Journal of Plant Production 9: 305-320.
47. Sobhani, A. R., and Hamidi, H. 2013. Effects of water deficit stress and potassium on yield and water use efficiency of potato by the source sprinkler irrigation. Environmental Stresses in Crop Sciences 6 (1):1-15 (in Persian with English abstract). doi: 10.22077/escs.2013.133.
48. Ta, J., Kaushik, S. K., Minhas, J. S., and Bhardwaj, V. 2003. The Potato Breeding for Biotic and Abiotic Stress. New Dehli, Mehta.
49. Unlu, M., Kanber, R., Senyigit, U., Onaran, H., and Diker, K. 2006. Trickle and sprinkler irrigation of potato (*Solanum tuberosum* L.) in the Middle Anatolian Region in Turkey. Agricultural water Management 79: 43-71.
50. van Loon, C. D. 1981. The effect of water stress on potato growth, development and yield. American Potato Journal 58: 51-69. https://doi.org/10.1007/BF02855380.
51. Wang, F., Kang, Y., Liu, S., and Hou, X. 2007. Effects of soil matric potential on potato growth under drip

irrigation in the North China Plain. Agricultural Water Management 88: 34-42. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2006.08.006.

52. Wright, J. L., and Stark, J. C. 1990. Potato. PP 211-247 in: B. A. Stewart, and D. R. Neilsen eds. Irrigation of Agricultural Crops. Agronomy Monograph No.30. Madison, Wisconsin, USA.
53. Yarnia, M., Khorshidi, M. B., Nasseri, A., and Hassanpanah, D. 2011. Drought stress effects in different growth stages on potato cultivars. In Conference on Ecology, Microbiology and Biotechnology Problems, Baku, Azerbaijan Republic 7: 384-392.
54. Yuan, B-Z., Nishiyama, S., and Kang, Y. 2003. Effect of different drip irrigation regimes on the growth and yield of drip-irrigated potato. Agricultural Water Management 63: 153-167. https://doi.org/10.1016/S0378-3774(03)00174-4.
55. Zhang, H., Wang, X., You, M., and Liu, C. 1999. Water yield relations and water use efficiency of winter wheat in North China Plain. Irrigation Science 19: 37-45. https://doi.org/10.1007/s002710050069.